

宇宙線ミュー粒子を利用した水路トンネル空洞探査

川崎地質株式会社 正会員 ○鈴木 敬一
 川崎地質株式会社 大沼 寛
 一般財団法人 エンジニアリング協会 フェロー 奥村 忠彦

1. はじめに

筆者らは従来空洞探査ができなかった深さ数十メートルを対象にして、宇宙線ミュー粒子を利用した探査システムを開発し、トモグラフィ解析により地盤の密度分布を三次元的に把握することができるようになった(鈴木ほか, 2011). 一方, 様々な分野のニーズを調査し, これに対応するためにトンネル内部に滴水などがある場合でも計測できるようにシステムを改良した(鈴木ほか, 2012). しかし, 三次元のトモグラフィを行うには現在の計測器では時間がかかる. そこで, トモグラフィまで行わなくても空洞の有無を簡便に判定することができる方法を開発するため, 空洞の存在が懸念される水路トンネル内部で計測を行った.

2. 地質状況

調査地は, 一級河川右岸の河岸段丘面に位置する. 基盤は岩盤(溶結凝灰岩層)の上に段丘堆積物(礫層)が堆積し, その上位にローム層が載っている. 図-1に既存の地質調査による地質断面図を示す. 調査地点付近は, 岩盤と礫層との地層の境界付近になっている. 調査範囲を同図中に赤色波線で示した. TD2170m 地点において, 既存のボーリング調査が行われている. トンネル天端からは上向きのグラウト注入工事が行われたが, 充てんの不十分な部分がある. 1本のボーリング調査では平面的な広がりがわからないため, 今回の調査地点として選定した.

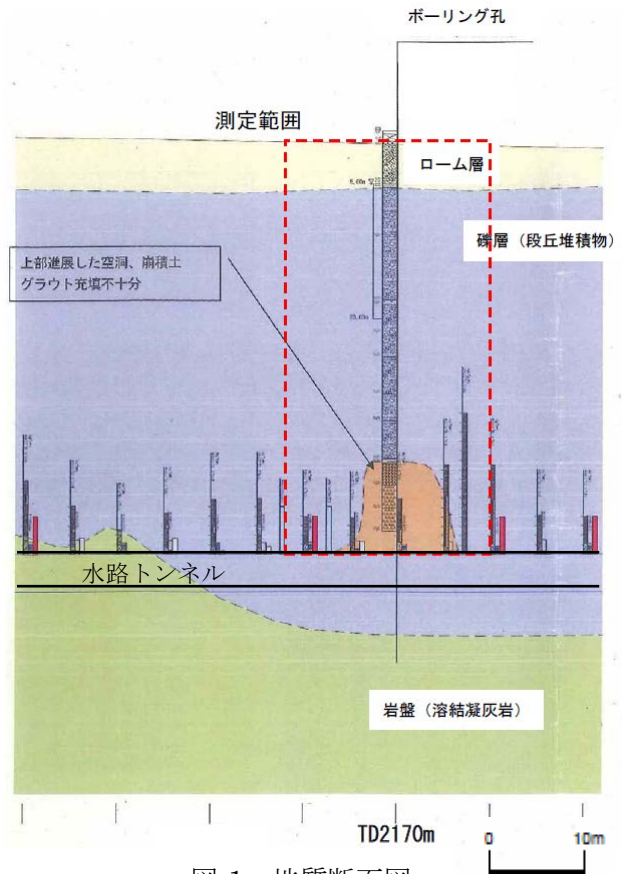


図-1 地質断面図

3. 計測方法

使用したミュー粒子計測器は, 鈴木ほか(2011)で報告したものである. ミュー粒子フラックスの角度分布を5方向同時に得るために, 上に1個, 下に5個のプラスチックシンチレータを配置したマルチ計測ができる計測器である. 図-1に示したTD2170m地点を中心に前後10mずつ, 計20m区間を, 2mピッチで測定を行った. 計測器はトンネル横断方向の角度分布が得られるように設置し, トンネル上部の地盤の密度分布が展開図のように見えるようにした. 一地点あたりの計測時間は46時間とした. これにより各地点で46時間あたり600個程度の同時計数が得られ, 変動係数約4%の精度で計測ができた.

4. 計測結果

得られたミュー粒子フラックスは, 三宅(1979)の実験式を用いて面密度(鉛直方向の土被りとかさ密度をかけ合わせたもの)に換算した. 面密度を地形図から読み取った土被りで割れば, ミュー粒子の透過経路に沿った平均密度を得ることができる. そのようにして求めた密度マップが図-2である. 横軸は水路トンネル縦断方向の距離程, 縦軸は天頂角であり, トンネル天端の展開図のように表している.

平均値は 1.78 g/cm^3 であり, 最も密度が低いのが 1.70 g/cm^3 , 高いのが 1.86 g/cm^3 である. TD2172~2180m

キーワード 地盤探査, 陥没事故, 空洞調査, ミュー粒子, 密度分布

連絡先 〒108-8337 東京都港区三田 2-11-15 川崎地質株式会社 技術本部

TEL 03-5445-2077

間の天端の低密度領域が確認できる。また、TD2160の天端とTD2166の天頂角-15度にも低密度領域が認められる。TD2160～2170の間で、天頂角0度以下で、高密度が分布している。ボーリング地点であるTD2170mを境に、地盤の密度構造が変わっているように見える。TD2172mより下流の天端付近に空洞の存在が示唆される。

5. 考察

調査地の地表は、駐車場になっていて、右岸から左岸に向かって

わずかに傾斜しているが、縦断方向にはほとんど平坦である。数値的な検討の結果、駐車している自動車の計測結果に与える影響はほとんどない。調査結果から得られた密度分布のうち、最も密度が低い値は、 1.70g/cm^3 であった。この低密度の要因を全て、空洞（空気）として考えて計算すると、空洞の厚さは約2.4mとなる。しかし、今回の計測方法では空洞の深さ方向の位置についてはわからないため、別途ボーリング調査などにより、空洞の有無や広がり直接確認する必要がある。トンネル内部の観察によればTD2170～2172m付近の天端にはコンクリートの遊離石灰が所々に認められるだけでなく、天端付近からの滴水も認められる。特に、TD2172mより下流側ではその量が多い。また、観察時は水の供給を止めてから約4ヶ月後であったが、コンクリートの目地からの湧水に伴って吸い出された細粒分がトンネル底盤に堆積しているのが認められた。

調査地の上流TD2150m付近では、天端からの滴水はかなりの量がある。図-1に示した地質断面図を参照すると、この付近は、岩盤と礫層の境界に相当し、下流に向かって岩盤が深くなるように、トンネルと斜交している。周囲の露頭の観察ではこの岩盤は透水性が低いものと考えられる。一方、礫層は透水性が高く、飽和地下水面は存在しないものの、地下水の供給があるものと考えられる。調査地の一段低位の段丘面には岩盤が露岩し、湧水が所々に存在し、縄文時代の遺跡が多く残されている。

以上のような現地の状況から、岩盤境界付近は特に地下水の流れが多く、これが吸い出しによる空洞化の原因となっている可能性がある。

6. まとめ

本調査開発においては、下水道や地下鉄など都市インフラ施設以外に大きな潜在的需要が期待される水路トンネルを対象に、その上部の密度を測定し、空洞存在の有無や形状、地盤のゆるみに起因する密度の変状箇所を推定することを試みた。深さ40mを超える場合、従来の空洞探査方法では困難な領域であり、ミュー粒子を利用した探査方法が有効であることがわかる。本研究による事例ではトモグラフィ解析まで行わなくても、簡便に空洞の有無を判定することができる。

謝辞

本調査は（一財）機械システム振興協会の補助を受けて実施した。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 三宅三郎(1979)：地下深部における宇宙線研究，日本物理学会誌，**34**，4，pp.292-301
- 2) 鈴木敬一，大沼 寛，奥村忠彦，宮川彰彦(2011)：宇宙線ミュー粒子を利用したマルチ計測器と三次元トモグラフィ技術の開発，平成23年度土木学会全国大会土木学会第66回年次学術講演会論文集，VI-236
- 3) 鈴木敬一，大沼 寛，奥村忠彦，浅沼博信(2012)：宇宙線ミュー粒子を利用したマルチ計測器の改良と社会ニーズの開拓，平成24年度土木学会全国大会土木学会第67回年次学術講演会論文集，VI-239

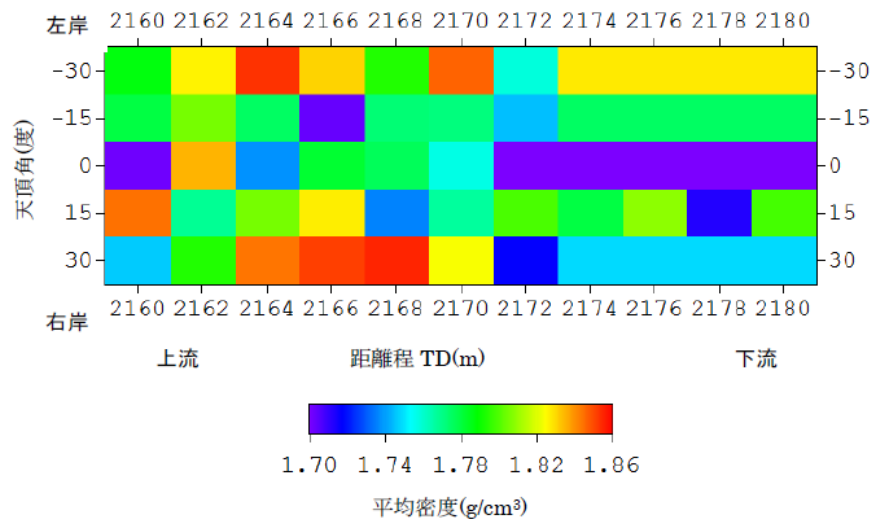


図-2 密度マップ